

Ministerul Educației Naționale

Universitatea din Petroșani

Școala Doctorală

**UTILIZAREA SISTEMELOR DE REPREZENTARE 3D ÎN
CONDUCEREA ACTIVITĂȚILOR MINIERE**

Conducător științific:

Prof.univ.dr. ing. Nicolae DIMA

Doctorand:

Ing. Alexandru RISTACHE

Petroșani

-2019-

CUPRINS

I. METODE UTILIZATE LA REPREZENTAREA OBIECTIVELOR MINIERE	6
I.1. Introducere	6
I.2. Clasificarea lucrărilor miniere din punct de vedere al orientării spațiale	7
I.3. Reprezentarea obiectivelor și lucrărilor miniere	10
I.3.1. Întocmirea planurilor topografice	13
I.3.1.1. Precizia reprezentării detaliilor planimetrice pe planurile topografice	14
I.3.1.2. Precizia reprezentării detaliilor altimetrice pe planurile topografice	15
I.3.1.3. Fidelitatea și gradul de detaliere al planurilor topografice	16
I.3.1.4. Semne convenționale	17
I.3.1.5. Reprezentarea formelor de relief	19
I.3.2. Întocmirea planurilor geologice	25
II. REGULI ȘI METODE UTILIZATE LA REPREZENTAREA LUCRĂRILOR MINIERE	27
II.1. Date generale	27
II.2. Metode de reprezentare a lucrărilor miniere	28
II.2.1. Reprezentarea obiectivelor miniere în format analogic	28
II.2.2. Reprezentarea pe planuri și hărți a elementelor de altimetrie	34
II.2.3. Conținutul hărților și planurilor analogice utilizate la reprezentarea obiectivelor miniere	35
II.2.3.1. Planuri miniere reprezentate în proiecție ortogonală	35
II.2.3.2. Planuri miniere reprezentate în perspectivă	36
II.2.3.3. Planuri miniere reprezentate axonometric	37
II.2.3.4. Reguli specifice de întocmire a documentelor cartografice miniere	40
II.3. Reprezentarea obiectivelor miniere în format digital	41
II.3.1. Modelul general al bazelor de date grafice	42
II.3.2. Crearea, organizarea și structura bazelor de date grafice	43
II.3.3. Crearea, organizarea și structura bazelor de date atributive	45
II.3.4. Geocodificarea datelor înregistrate	47
II.3.5. Aplicații informatice folosite la reprezentarea obiectivelor miniere în format digital	49
II.3.6. Reprezentarea lucrărilor miniere în format digital	50
II.3.6.1. Metoda analitică de determinare a coordonatelor punctelor care definesc lucrarea minieră de lungime minimă	51
II.3.6.2. Metode de reprezentare 2D a lucrărilor miniere	52
II.3.6.3. Metode de reprezentare 3D a lucrărilor miniere	55
III. ROLUL REPREZENTĂRILOR GRAFICE ÎN PROIECTAREA LUCRĂRILOR MINIERE	56
III.1. Date generale	56
III.2. Categoriile de lucrări miniere executate în vederea exploatarei zăcămintelor	56

III.2.1 Metode de deschidere	57
III.2.2 Pregătirea zăcămintului în vederea extragerii substanțelor minerale	60
III.2.3 Lucrări miniere de extragere a substanțelor minerale utile	61
III.2.4 Lucrări de închidere	61
III.3. Relațiile de calcul și optimizarea cheltuielilor capitale de pregătire	62
III.3.1. Date generale	62
III.3.2. Utilizarea reprezentărilor grafice pentru determinarea elementelor de cost	64
IV. STADIUL ACTUAL AL METODELOR DE MĂSURARE ȘI REPREZENTARE A LUCRĂRILOR MINIERE	69
IV.1. Introducere	69
IV.2. Analiza stadiului metodelor de obținere a datelor geospațiale în domeniul minier	69
IV.3. Analiza stadiului aplicațiilor informatice utilizate la prelucrarea informațiilor geospațiale specifice domeniului minier	71
IV.4. Algoritmi de prelucrare și transcalcul	73
IV.4.1. Proiectarea elipsoidului pe sferă	74
IV.4.2. Modulele de deformare liniară și areală ale proiecției pe sferă	75
IV.4.3. Determinarea modulului de deformare liniară și a coeficientului de deformare a lungimilor	77
IV.4.4. Determinarea valorii de reducere a azimutului	78
IV.4.5. Aplicația proiecției stereografice duble pentru teritoriul României	79
IV.4.6. Definierea proiecției stereografice duble	79
IV.4.7. Calculul modulelor de deformare liniară în proiecția stereografică	82
IV.4.8. Reducerea la coardă și convergența meridianului în planul proiecției stereografice	82
IV.4.9. Calculul coeficientului de deformare a lungimilor și a suprafețelor	83
IV.4.10. Programul sursă de transformare a coordonatelor	83
V. REALIZAREA BAZEI DE DATE GRAFICE A SALINEI OCNELE MARI	96
V.1. Descrierea metodologiei folosite la realizarea bazei de date grafice	96
V.2. Descrierea echipamentelor folosite la realizarea măsurătorilor	97
V.3. Descrierea etapelor de realizare a măsurătorilor	98
V.4. Descrierea etapelor de prelucrare a măsurătorilor	99
V.5. Descrierea etapelor de realizare a bazei de date grafice	104
V.6. Concluzii	107
Bibliografie	109

REZUMAT

Lucrarea își propune să prezinte importanța reprezentărilor grafice în proiectarea obiectivelor și lucrărilor miniere, urmărind cerințele și tendințele actuale cu privire la metodele de obținere și reprezentare digitală a datelor. Metodele de reprezentare descrise cuprind informații generale privind lucrările miniere, desen tehnic minier, utilizarea programelor de tip CAD/GIS la proiectarea și gestiunea lucrărilor miniere, precum și reprezentări ale rezultatelor obținute din lucrări geodezice, topografice și de scanare LIDAR executate pentru studiul de caz. Utilizarea metodelor de reprezentare 3D în conducerea activității miniere este impusă în principal de cerințele de proiectare și execuție specifice acestui domeniu. Astfel, pentru amplasarea unui obiectiv minier este necesară o reprezentare 3D detaliată a reliefului zonei întrucât condițiile de relief determină amplasarea construcțiilor și instalațiilor de la suprafață și alegerea metodelor de deschidere și exploatare. În cazul lucrărilor miniere trebuie figurate detalii constructive și elementele de joncțiune cu alte lucrări care pot fi amplasate la orizonturi de lucru diferite, fiind necesară utilizarea unor metode care să permită o reprezentare de ansamblu a lucrării atât în plan orizontal cât și în plan vertical.

Planurile și hărțile miniere reprezintă suportul de bază pentru proiectarea și execuția lucrărilor, fiind utilizate în toate fazele de desfășurare a activităților, începând cu fazele preliminare de stabilire a formei și dimensiunilor zăcămintului, evaluarea rezervelor de substanță minerală utilă, întocmirea proiectelor de punere în exploatare până la activitățile de construcție, dezvoltare și sistematizare a lucrărilor aferente obiectivului minier. Conținutul planurilor miniere trebuie să fie corelat cu necesitățile specifice fiecărei faze de execuție, respectând conformitatea cu normele și instrucțiunile tehnice prin care sunt stabilite condițiile și caracteristicile de reprezentare grafică. Întrucât obiectivele miniere au în general o existență îndelungată rezultă implicit necesitatea găsirii unor metode de reprezentare și gestionare eficiente a bazelor de date grafice. Utilizarea arhivei topo-geodezice a unui obiectiv minier în format analogic este considerată la ora actuală destul de greoaie, deoarece nu permite organizarea, selecția, sinteza sau intersecția eficientă a informațiilor provenite din diverse domenii sau stadii de execuție. De aceea este necesar ca informațiile grafice să fie organizate sub forma bazelor de date grafice digitale.

Obiectivele urmărite în prezenta lucrare sunt:

- Analiza metodelor utilizate la reprezentarea obiectivelor și lucrărilor miniere.
- Descrierea metodelor care stau la baza obținerii informațiilor necesare realizării documentației grafice miniere și posibilitățile construirii bazelor de date grafice.

- Studiul posibilităților actuale de obținere și prelucrare a datelor geospațiale specifice domeniului minier utilizând diverse echipamente și aplicații informatice.
- Realizarea unui algoritm de transcalcul al coordonatelor geografice elipsoidale în proiecție Stereografică 1970 folosind metoda proiecției stereografice duble,algoritmul fiind folosit la transformarea coordonatelor punctelor determinate în studiul de caz.
- Realizarea bazei de date grafice pentru un obiectiv minier subteran prin utilizarea metodei de scanare terestră laser mobilă.

Lucrarea este structurată pe următoarele capitole:

CAPITOLUL I:STUDIUL METODELOR UTILIZATE PENTRU REPREZENTAREA OBIECTIVELOR MINIERE

Capitolul prezintă aspecte legate de:

- Clasificarea lucrarilor miniere din punct de vedere al orientarii in spatiu;
- Caracteristicile reprezentărilor pe planuri topografice: scara, precizia,fidelitatea, gradul de detaliere,semnele conventionale;
- Principalele metode de reprezentare a reliefului. Pentru obiectivele miniere informațiile referitoare la relief prezintă o mare importanță întrucât condițiile de relief determină modul de amplasare a construcțiilor miniere de la suprafața minei precum și stabilirea metodei optime de deschidere a zăcămintului.

CAPITOLUL II. ANALIZA LUCRĂRILOR MINIERE ȘI METODE UTILIZATE PENTRU REPREZENTAREA LOR

În general pentru reprezentarea unei suprafețe se folosește un model geometric al acesteia, model care se reprezintă grafic prin semne convenționale,culori și inscripții rezultând hărți si planuri topografice.

Pentru reprezentarea pe planuri a obiectivelor miniere din România se utilizează din punct de vedere cartografic sisteme de referință proprii ale bazinelor miniere, în care se situează lucrările miniere și sistemul de proiecție Stereografic 1970 , fiind astfel necesar așadar transcalculul între cele două proiecții.Problema transcalculului între diverse sisteme de coordonate implică o bună cunoaștere a caracteristicilor proiectiilor de aceea în cadrul capitolului sunt descrise caracteristicile principale ale proiecției Stereografice 1970 și Gauss-Krueger.

În funcție de complexitatea unui obiectiv minier , utilizarea completului de documente cartografice este uneori greoaie deoarece nu permite selecția rapidă sau intersecția informațiilor despre suprafața terenului , construcțiile din subteran și datele geologice .

De asemenea pe toată durata existenței unui obiectiv minier poate să apară necesitatea actualizării planurilor topografice sau necesitatea suprapunerii informațiilor despre teren cu informațiile despre caracteristicile geologice fapt ce poate determina imposibilitatea reprezentării integrale a tuturor detaliilor de interes .

Întrucât în procesul de producție se folosește în principal forma redactată a planurilor sunt prezentate aspecte legate de proiecțiile geometrice folosite la reprezentare și regulile specifice de întocmire a documentelor cartografice miniere utilizate la reprezentarea pe suport analogic.

Utilizarea sistemelor informatice de calcul și stocare a datelor, rezolvă problema reprezentării grafice a obiectivelor miniere prin reprezentări cartografice informatizate (hărți digitale) în cadrul cărora entităților geografice (spațial determinate) le sunt asociate baze de date relaționale rezultând astfel sisteme informaționale geografice, termenul consacrat fiind de SIG sau GIS.

Dezvoltarea aplicațiilor informatice de reprezentare grafică a determinat implicit și schimbarea modului de proiectare și gestionare a obiectivelor miniere . Problemele legate de necesitatea actualizării permanente a planurilor miniere sau de reprezentarea pe același plan a elementelor topografice, geologice și a instalațiilor miniere , sunt rezolvate de aplicațiile informatice prin metode relativ simple : gruparea entităților pe straturi , adăugarea, modificarea și simbolizarea rapidă a elementelor , generarea rapidă de hărți tematice, posibilitati de reprezentare, vizualizare și analiză 3D. Pornind de la necesitatea modernizării metodelor de extracție prin instalarea unui nou echipament și implementarea unui anumit proces de automatizare apare imediat problema determinării posibilităților spațiale de amplasare, simularea condițiilor de lucru și implicit calcule de eficiență. Posibilitatile de reprezentare 2D / 3D oferite de aplicațiile informatice sunt exemplificate prin prezentarea conceptului și reprezentarea unei lucrări miniere utilizând programul Autocad MAP 3D.

CAPITOLUL III.ROLUL REPREZENTĂRILOR GRAFICE ÎN PROIECTAREA LUCRĂRILOR MINIERE

Indiferent de faza de execuție lucrările miniere se realizează pe baza planurilor miniere folosite ca suport începând cu fazele preliminară de stabilire a formei și dimensiunilor zăcământului evaluarea rezervelor de substanță minerală utilă și continuând cu fazele de punere în exploatare a zăcământului, dezvoltarea și sistematizarea obiectivului minier, respectiv închiderea obiectivului. Încă din faza de proiectare a obiectivului minier se urmărește crearea unei infrastructuri cât mai eficiente și o amplasare optimă a lucrărilor miniere bazată pe calcule tehnico-economice.

Aplicațiile destinate reprezentărilor grafice simplifică semnificativ activitățile de proiectare a lucrărilor miniere. Pentru exemplificare a fost abordată problema trasării unei lucrări miniere de lungime minimă între două lucrări existente. Acest tip de lucrări asigură legătura între două lucrări miniere existente și poartă denumirea de lucrări de străpungere sau de joncțiune. Conform criteriilor care stau la baza alegerii metodelor de exploatare a zăcămintelor se are în vedere ca lungimea totală a lucrărilor de deschidere, pregătire și exploatare să aibă valori cât mai mici, ceea ce din punct de vedere topografic presupune trasarea precisă a unei lucrări de lungime minimă.

Prin utilizarea facilităților oferite de programele informatice de tip CAD problema se rezolvă în cel mai scurt timp, prin folosirea unor comenzi aplicate datelor reprezentate spațial, rezultatul fiind parametrii metrici de bază necesari determinării costurilor de săpare.

Pentru estimarea și urmărirea progresului de săpare a lucrării miniere de lungime minimă într-un mediu GIS, trebuie evidențiat costul unitar și costurile totale pentru fiecare segment de lucrare raportat la un interval de timp de referință, în cadrul capitolului fiind exemplificată succesiunea etapelor de creare într-un mediu GIS a câmpurilor și atributelor bazei de date geospațiale.

CAPITOLUL IV. STADIUL ACTUAL AL METODELOR DE MĂSURARE ȘI REPREZENTARE A LUCRĂRILOR MINIERE

Progresul tehnologic din ultimii ani apărut în domeniul echipamentelor și senzorilor de culegere a datelor geospațiale în paralel cu dezvoltarea tehnicii de calcul destinată prelucrării, analizei și distribuției informației își găsește aplicabilitate și în domeniul minier.

Indiferent de domeniu, echipamentele tehnice de măsurare urmează tendința generală de a reduce timpul necesar culegerii datelor și automatizarea extragerii și prelucrării ulterioare a informațiilor.

În ceea ce privește echipamentele și metodele de culegere a datelor geospațiale pentru domeniul minier se manifestă o dezvoltare rapidă a tehnologiilor de obținere a datelor pentru exploatarea miniere la zi dar care au o aplicabilitate scăzută în cazul exploatărilor miniere subterane.

Metodele moderne de achiziție a datelor geospațiale își găsesc aplicabilitate și în domeniul exploatărilor miniere subterane dar este cunoscut faptul că pentru o funcționare optimă și obținerea unor date precise trebuie îndeplinite anumite cerințe care nu pot fi asigurate în subteran, respectiv:

- majoritatea echipamentelor moderne de măsurare se bazează pe utilizarea tehnologiei GPS care nu poate fi folosită în subteran;

- metodele de măsurare bazate pe tehnologia LIDAR pot fi folosite doar în anumite cazuri (exploatări de sare, scanare obiectivelor miniere în care nu se mai desfășoară activități de

exploatare) în celelalte situații folosirea fiind dificilă datorită condițiilor de lucru din subteran (acces limitat, flux de lucru intens, praf, umezeală, etc).

Noile tehnologii nu sunt concentrate pe dezvoltarea echipamentelor și metodelor de măsurare utilizabile în subteran, existând doar studii și cercetări privind găsirea unor metode prin care echipamentelor existente să poată fi adaptate pentru a fi folosite și în acest domeniu.

Aplicațiile informatice de prelucrare a informațiilor geospațiale existente în prezent oferă funcționalități de gestiune globală și funcționalități create și adaptate pentru un anumit domeniu. Toate etapele de extracția a resurselor minerale trebuie să fie monitorizate cu exactitate și stadiul lucrărilor trebuie comparat cu planul de maximizare a producției și a utilizării resurselor, prima cerință fiind legată de integrarea, prelucrarea și interpretarea rapidă a datelor obținute din măsurători cu scopul de a compara și valida stadiul de dezvoltare a lucrărilor miniere și dacă s-a realizat încadrarea în nivelul de producție planificat.

Pentru a răspunde cerințelor de reprezentare și gestiune a datelor specifice domeniului minier aplicațiile informatice trebuie să conțină funcții și proceduri complexe care să permită reprezentarea 2D și/sau 3D a lucrărilor miniere de orice fel (funcții CAD) dar să ofere și un mediu care să permită crearea și gestiunea datelor geospațiale (funcții GIS).

Aplicațiile de reprezentare și modelare 2D și 3D se dezvoltă odată cu tehnologiile folosite la realizarea măsurătorilor. Metodele de măsurare actuale permit achiziția unui volum mare de date într-un timp foarte scurt și prin urmare aplicațiile informatice de prelucrare a datelor trebuie să dezvolte algoritmi de preluare și prelucrare a datelor precum și o gestionare eficientă a spațiului de memorie.

Tendința care se manifestă în prezent în rândul producătorilor actuali de echipamente hardware este de a oferi și dezvolta permanent soluții software care permit prelucrarea datelor într-un flux de lucru simplificat, fără a mai fi necesare etapele de conversie și transfer al datelor către alte aplicații, etape care consumă timp și uneori pierderea unor informații importante întrucât nu există compatibilitate 100% între aplicațiile ce aparțin unor producători diferiți.

În multe cazuri o aplicație informatică nu acoperă cerințele legate de proiecțiile cartografice în care trebuie reprezentate datele geospațiale sau realizarea unui transcalcul fără erori al datelor geospațiale dintr-un sistem de coordonate în altul. De asemenea în multe situații este necesar ca pentru eficientizarea etapelor de prelucrare a datelor să fie construite aplicații proprii care să ruleze într-o anumită ordine funcțiile oferite de aplicația de bază.

Pentru rezolvarea acestei probleme programele de gestiune a informațiilor geospațiale oferă utilizatorilor medii de programare în care să-și creeze propriile aplicații pe care să le ruleze sub formă de funcții sau comenzi în programul de bază. De exemplu în Autocad pot fi realizate

diverse aplicații în limbajul LISP sau Visual Basic, în ArcGIS pot fi realizate scripturi în Python, etc.

În cazul proiecțiilor cartografice principala problemă este legată de transcalculul coordonatelor geospațiale dintr-un sistem de coordonate în altul. Deși există baze de date care conțin majoritatea informațiilor globale despre proiecțiile cartografice utilizate în prezent (exemplu EPSG), apare deseori situația în care o aplicație are implementate doar proiecțiile cele mai utilizate și nu permite decât definirea unor anumite proiecții. Implementarea unor proiecții cartografice specifice în aplicațiile informatice comerciale nu se realizează întrucât scrierea algoritmilor implică elemente de geodezie, cartografie matematică și seturi de observații care nu sunt întotdeauna accesibile.

În cazul proiecției Stereografice 1970, în multe aplicații este definită ca proiecție stereografică dublă sau pe baza unor parametri de transcalcul calculați la nivel global, pentru o georeferențiere exactă fiind necesară aplicarea unei transformări suplimentare (deplasare). Având în vedere faptul că majoritatea aplicațiilor permit definirea oricărui tip de elipsoid în cadrul capitolului este prezentată metodologia de creare a algoritmului necesar transformării coordonatelor geografice elipsoidale în proiecție Stereografică 1970 folosind metoda proiecției stereografice duble. Pentru elaborarea algoritmului este necesar să fie definite formulele matematice de proiectare a elipsoidului pe sferă și în proiecție plană care stau la baza algoritmului informatic. Programul sursă a fost elaborat în C++ , fiind folosit într-o formă îmbunătățită la transformarea datelor din sistem de coordonate geografic în sistem de coordonate stereografic 1970, sistem altimetric Marea Neagră 1975, în studiul de caz prezentat în cadrul lucrării.

CAPITOLUL V. REALIZAREA BAZEI DE DATE GRAFICE A SALINEI OCNELE MARI

Datele necesare realizării bazei de date grafice a salinei Ocnele Mari s-au obținut prin scanare terestră laser mobilă. Metoda folosită este puțin aplicată în acest domeniu pentru că precizia de poziționare este scăzută întrucât în subteran nu se poate folosi tehnologia GPS. Pentru asigurarea unui nivel de precizie corespunzător au fost determinate 11 puncte de control dintre care 8 puncte de control sunt amplasate în subteran.

Scanarea s-a realizat la o rată de repetiție a pulsului de 100 kHz, viteza autoturismului fiind menținută relativ constantă la 20 km/oră. Accesul în galerie a presupus pierderea semnalului GPS și pornirea automată a sistemului de măsurare a distanțelor VMX-DMI. Măsurătorile au fost executate în luna mai, 2017.

După parcurgerea etapelor de prelucrare și aplicarea tuturor corecțiilor, au rezultat următoarele valori ale erorii medii pătratice calculate în punctele de control amplasate în subteran $STDEV_X=0.05m$, $STDEV_Y=0.06m$, $STDEV_Z=0,15 m$.

Norul de puncte obținut reprezintă în sine o bază de date care a fost organizată riguros prin gruparea punctelor pe clase de interes (clasificare), în cazul de față clasele posibile fiind reprezentate de calea de acces, pereții galeriilor/camerelor de exploatare și elemente de altă natură.

Rezultatele obținute în urma realizării studiului de caz sunt anexate prezentei lucrări în format electronic sub formă de proiect Autodesk RECAP creat pe baza fișierelor *.las, datele fiind georeferențiate în sistem de proiecție UTM 35 și cotă elipsoidală ETRS89. Clasa de puncte "ground" este prezentată sub formă de fișiere ASCII (X,Y,Z), georeferențiate în sistem de proiecție Stereografic 1970, sistem altimetric Marea Neagră 1975. Pentru georeferențierea punctelor clasificate s-a utilizat un program bazat pe algoritmul prezentat în capitolul IV al lucrării.

Contribuții proprii rezultate din elaborarea lucrării.

1. Prezentarea posibilităților de construire a bazelor de date grafice și a metodelor de reprezentare a obiectivelor și lucrărilor miniere prin utilizarea programelor de tip CAD/GIS.
3. Studiul posibilităților actuale de obținere și prelucrare a datelor geospațiale specifice domeniului minier utilizând diverse echipamente și aplicații informatice.
3. Elaborarea unui algoritm de transformare a coordonatelor geografice elipsoidale în proiecție Stereografică 1970 folosind metoda proiecției stereografice duble, algoritmul fiind folosit la transformarea coordonatelor punctelor determinate în studiul de caz.
4. Realizarea unui studiu de caz privind posibilitățile de obținere a unei baze de date grafice pentru un obiectiv minier subteran, utilizând metoda de scanare terestră laser mobilă.